

УДК 656.02 : 338.47

Н.И.САМОЙЛЕНКО, д-р техн. наук, И.А.ГАВРИЛЕНКО

Харьковская национальная академия городского хозяйства

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Рассматриваются вопросы функциональной надёжности в магистральных сетях высокой протяженности. Выполнен расчет функциональной надёжности протяженных магистральных трубопроводов с произвольным числом перемычек трёх различных типов и сравнительный анализ влияния типа конструкции перемычки на функциональную надёжность трубопроводной сети.

Магистральные трубопроводные системы должны обладать высокой надёжностью независимо от того, какой целевой продукт (газ, вода, нефть, тепло, сжатый воздух, сыпучие материалы и т.п.) они транспортируют. Выход из строя какого-либо участка в трубопроводных сетях приводит к тому, что сеть перестаёт отвечать своему назначению и становится объектом повышенной опасности для окружающей среды, способной вызвать экологическую катастрофу. В магистральных сетях это усугубляется ещё и масштабами потерь и ущербов.

С точки зрения надёжности магистральных трубопроводов создается противоречивая ситуация. С одной стороны, к ним предъявляется требование повышенной надёжности в силу их высокой значимости для функционирования всей системы, а с другой – магистральные трубопроводы обречены на низкую надёжность из-за их протяжённости: чем больше длина трубопровода, тем меньше его надёжность.

В связи с противоречивостью ситуации возникает необходимость в разработке методов повышения функциональной надёжности магистральных трубопроводных систем. Одним из методов повышения функциональной надёжности магистральных систем является дублирование их трубопроводов, т.е. сооружение двух параллельных ниток трубопроводов. Установка перемычки между параллельными участками трубопроводов способствует дальнейшему повышению функциональной надёжности магистральной сети в целом. Данная задача не нова и научные исследования, связанные с функциональной надёжностью сетевых структур, проводились ранее [1-2]. В предложенном в [2] методе расчёт функциональной надёжности магистральных трубопроводов проводится с использованием формулы «полной вероятности» [3]. Такой подход не может быть применен, поскольку выход из строя перемычки в магистральной сети приводит не к мостовой модели расчёта надёжности трубопроводной системы, а к последовательной.

Цель настоящей работы – провести сравнительный анализ функ-

циональной надёжности различных конструкций протяжённых магистральных трубопроводов на основе метода расчёта функциональной надёжности трубопроводных транспортных систем, изложенного в [4].

Схема магистральной трубопроводной системы, состоящей из двух параллельных трубопроводов с одной переключкой из пяти задвижек, приведена на рис.1. На рис.1 переключка разбивает два параллельных трубопровода на четыре участка 1, 2, 3 и 4. Каждый участок может быть отсечен от магистральной сети с помощью пары задвижек на концах соответствующего трубопровода. При этом целевой продукт продолжает поступать к потребителю через оставшиеся работоспособные участки. Такое устройство переключки позволяет также проводить аварийно-профилактические работы на двух участках без прекращения поставки целевого продукта потребителю. Так, 1-й или 2-й участок может быть одновременно отключен с 3-м или 4-м участком.

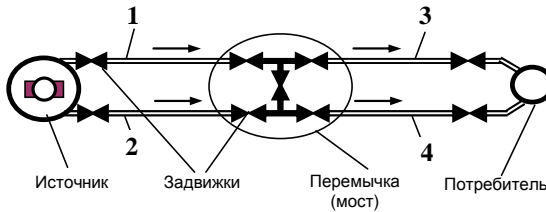


Рис.1 – Схема трубопроводной системы с переключкой из пяти задвижек

При числе переключек, равно n , схема магистральной трубопроводной системы принимает вид, приведенный на рис.2, а соответствующие ей граф аварийно-ремонтных зон и расчётная модель функциональной надёжности всей системы – на рис.3, 4.

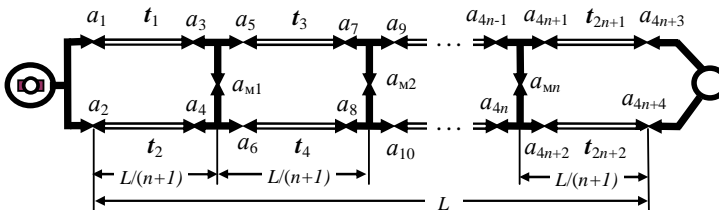


Рис.2 – Схема магистральной трубопроводной системы с произвольным числом переключек

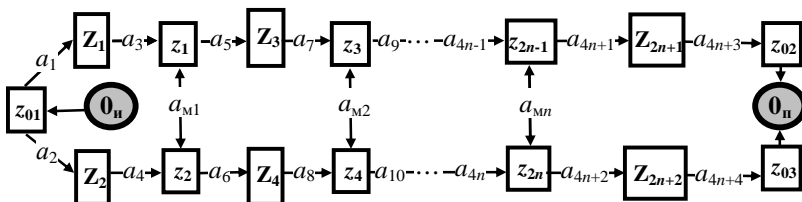


Рис.3 – Граф аварийно-ремонтных зон магистральной трубопроводной системы с произвольным числом перемычек

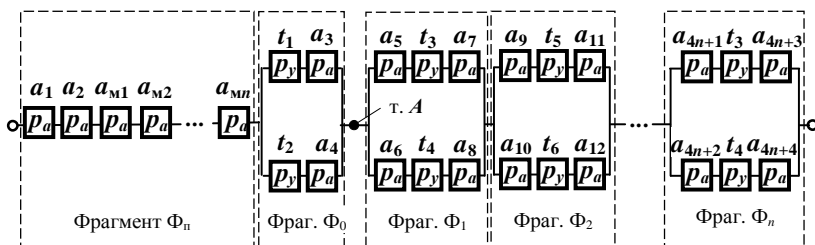


Рис. 4 – Расчётная модель функциональной надёжности трубопроводной системы с произвольным числом перемычек

На рис.2 протяжённые трубопроводные участки имеют обозначение t_i , $i \in \{1, 2n+2\}$, задвижки – a_j , $j \in \{1, 4n+4\}$ или a_{mk} , $k \in \{1, n\}$. Длина всех трубопроводных участков одинакова и равна $\frac{L}{n+1}$.

На рис.3 вершина 0_n соответствует источнику целевого продукта (ЦП), вершина 0_n – потребителю ЦП, вершины-зоны $Z_1, Z_2, \dots, Z_{2n+2}$ – протяжённым трубопроводам, вершины-зоны z_1, z_2, \dots, z_{2n} – трубопроводным участкам, принадлежащим перемычкам, вершины-зоны z_{01}, z_{02}, z_{03} – трубопроводным участкам, соединяющим источник или потребителя с трубопроводной сетью.

Длина трубопроводных участков в зонах z_1, z_2, \dots, z_{2n} и z_{01}, z_{02}, z_{03} намного меньше длины каждого из участков $t_1, t_2, \dots, t_{2n+2}$, находящихся в зонах $Z_1, Z_2, \dots, Z_{2n+2}$. Поэтому можно

допустить, что вероятность безотказной работы каждой из зон z_1, z_2, \dots, z_{2n} и z_{01}, z_{02}, z_{03} равна единице. В этом случае данные зоны не оказывают никакого влияния на функциональную надёжность всей трубопроводной сети. По этой причине на рис.4 в расчётной схеме вероятности поставки ЦП потребителю технические надёжности, соответствующие участкам z_1, z_2, \dots, z_{2n} и z_{01}, z_{02}, z_{03} , отсутствуют.

Расчётная схема функциональной надёжности трубопроводной сети на рис.4 представляет собой смешанную (последовательно-параллельную) модель надёжности. Каждый конструктивный элемент сети в модели представлен блоком с указанием технической надёжности (внутри блока) и обозначения этого элемента (над блоком).

Пусть трубопроводы $t_1, t_2, \dots, t_{2n+2}$ при равной длине имеют одинаковые и разные показатели. Тогда можно считать, что они имеют и равную техническую надёжность p_y . Такое же допущение можно сделать и относительно всей запорной арматуры, т.е. техническая надёжность каждой из задвижек a_j , $j \in \{1, 4n+4\}$, и a_{mk} , $k \in \{1, n\}$, равна одной и той же величине p_a .

Построение расчётной модели основывается на структуре графа аварийно-ремонтных зон (рис.3) и анализе влияния выхода из строя различных конструктивных элементов сети на поставку целевого продукта потребителю. Так, выход из строя любой из задвижек $a_1, a_2, a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mn}$ приводит к прекращению подачи ЦП потребителю. Только при условии одновременной безотказной работы этих задвижек ЦП имеет возможность поставляться потребителю. Поэтому задвижкам $a_1, a_2, a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mn}$ в расчётной модели соответствует последовательная модель надёжности (фрагмент модели Φ_n), а эквивалентная вероятность транспорта ЦП через эти задвижки составит

$$P_{\Phi_n}^f = p_a^{n+2}. \quad (1)$$

Поскольку влияние технической надёжности задвижек $a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mn}$ уже учтено, то перемычки на модели трансформируются в точку. Например, первую перемычку можно интерпретировать как т.А (рис.4). Все точки-перемычки разбивают смешанную модель надёжности на фрагменты Φ_k , $k \in \{0, n\}$. Выход из строя части сети, соответствующей фрагменту Φ_k или фрагменту Φ_n , приводит к прекращению подачи ЦП потребителю. Поэтому все фрагменты образуют

также последовательную модель надёжности, т.е. искомая функциональная надёжность сети определяется выражением

$$P^f = P_{\Phi_0}^f \prod_{k=0}^n P_{\Phi_k}^f. \quad (2)$$

Фрагмент Φ_0 представляет собой параллельную модель двух последовательных цепочек (рис.5, а). Одна цепочка определяет надёжность участка сети с трубопроводом t_1 и задвижкой a_3 , а другая – надёжность сети с трубопроводом t_2 и задвижкой a_4 . Целевой продукт будет поступать потребителю, если хотя бы одна из цепочек находится в исправном состоянии. Поэтому цепочки образуют параллельную модель надёжности, согласно которой надёжность фрагмента Φ_0 определяется выражением

$$P_{\Phi_0}^f = 1 - (1 - p_y p_a)^2. \quad (3)$$

Для остальных фрагментов Φ_k (рис.5, б), $k \in \{1, n\}$, надёжность определяется аналогично:

$$P_{\Phi_k}^f = 1 - (1 - p_y p_a^2)^2. \quad (4)$$

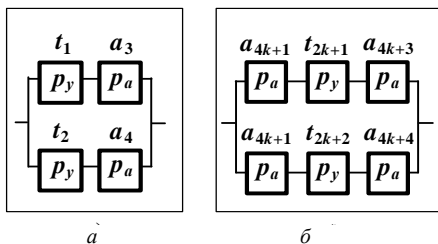


Рис.5 – Фрагменты модели надёжности

Подставляя (1), (3), (4) в (2), получим математическую модель функциональной надёжности всей магистральной сети в зависимости от технической надёжности отдельных её конструктивных элементов при произвольном количестве перемычек n

$$P_{5n}^f = p_a^{n+2} \left[1 - (1 - p_y p_a)^2 \right] \left[1 - (1 - p_y p_a^2)^2 \right]^n. \quad (5)$$

Модель (1) получена для перемычек, содержащих пять задвижек. Представляют интерес математические модели функциональной надёжности магистральной сети ещё для различных типов перемычек, в

частности, для перемычек с четырьмя (рис. 6,а). и шестью (рис. 6,б). задвижками.

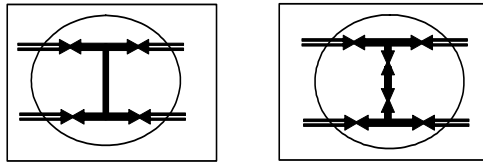


Рис.6 – Типы перемычек

Используя тот же метод, что и для построения модели (5), получим математические модели функциональной надёжности:

– для системы с перемычками, содержащими четыре задвижки

$$P_{4п}^f = p_a^{4(n+2)} \left[1 - (1 - p_y)^2 \right]^n \left[1 - (1 - p_y p_a)^2 \right]. \quad (6)$$

– для системы с перемычками, содержащими шесть задвижек

$$P_{6п}^f = p_a^2 \left[1 - (1 - p_a)^2 \right]^n \left[1 - (1 - p_y p_a)^2 \right] \left[1 - (1 - p_y p_a^2)^2 \right]^n. \quad (7)$$

Из (5)-(7) следует, что

$$P_{5п}^f = \left(\frac{1}{p_a} \right)^n \left(\frac{2 - p_y p_a^2}{2 - p_y} \right)^n P_{4п}^f; \quad (8)$$

$$P_{6п}^f = (2 - p_a)^n P_{5п}^f. \quad (9)$$

Анализ выражений (8) и (9) позволяет сделать следующие выводы:

➤ поскольку каждое из дробных выражений $\left(\frac{1}{p_a} \right)$, $\left(\frac{2 - p_y p_a^2}{2 - p_y} \right)$

в (8) больше единицы, то $P_{5п}^f > P_{4п}^f$;

➤ поскольку выражение $(2 - p_a)$ в (9) больше единицы, то

$$P_{6п}^f > P_{5п}^f;$$

➤ перемычки с шестью задвижками (рис.6, б) позволяют достичь большей функциональной надёжности сети по сравнению с другими перемычками и обеспечивают возможность проведения профилактических или ремонтных работ на любом элементе сети (кроме задвижек a_1 и a_2).

Таким образом, метод расчёта функциональной надёжности трубопроводных транспортных систем [4] позволил однозначно определить функциональные надёжности магистральной симметричной сети с различными типами перемычек. Сравнительный анализ полученных математических моделей функциональной надёжности выделил тип перемычек с шестью задвижками как наиболее целесообразный для практического использования.

1.Надежность систем энергетики и их оборудования. Справочник: В 4-х т. / Под общ. ред. Ю.Н.Руденко. Т.2. Надежность электроэнергетических систем / Под ред. М.Н.Розанова. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 568 с.

2.Рудь И.А. Расчет надежности технических систем с мостовым соединением элементов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн.сб. Вып.20. – К.: Техніка,1999. – С.37-42.

3.Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

4.Самойленко Н.И., Гавриленко И.А. Метод расчета функциональной надежности трубопроводных транспортных систем // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн.сб. Вып.81. – К.: Техніка, 2008. – С.176-183.

Получено 19.11.2008

УДК 62.533.66

Т.Г.БУЛЬЩЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», г.Харьков

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Рассматриваются вопросы расчета параметров теплопроводов двухтрубной магистральной тепловой сети водяного отопления. Приводится зависимость дополнительных затрат энергии от параметров тепловой сети.

С учетом роста цен на энергоресурсы в отопительных системах возрастают требования к системам учета и регулирования отпуска тепла потребителям. Для повышения экономичности систем теплоснабжения необходимо учитывать влияние режимов эксплуатации тепловой сети на параметры теплоносителя в контролируемой системе.

Исследования в области систем теплоснабжения отражены в работах [1, 2]. Однако принятые методики предполагают линейную зависимость расхода теплоносителя от гидравлического сопротивления сети.

Математический аппарат расчета теплообмена и гидродинамического сопротивления в жидких средах разработан С.С.Кутателадзе [3].

Последние исследования в области рациональной эксплуатации тепловых сетей, посвященные реконструкции имеющихся систем теплоснабжения, выполнялись С.Ю.Андреевым [6]. Методы снижения дополнительных затрат энергии за счет учета транспортного запазды-